

El desarrollo de la técnica de la refrigeración

Por MANUEL UCHA UDABE

(Profesor titular de termodinámica, Universidad Nacional de La Plata)

"La ciencia del frío y sus aplicaciones afectan a todos los países y a todas las clases sociales. Reunir a quienes se interesan en la refrigeración equivale a extender a un nuevo terreno el precioso tesoro de la solidaridad internacional." *H. Kamerlingh Onnes* (I. Congreso Internacional del Frío, París, 1908.)

RECORDEMOS que la refrigeración, en su sentido más amplio, es el proceso de sustracción de cantidades de calor a fin de provocar descensos de la temperatura. En todos los climas, la generación del frío artificial es una necesidad imperiosa, ya sea en sus relaciones con la industria, con la terapéutica o con la conservación de productos perecederos.

La novela del frío en el aspecto de sus éxitos técnicos es muy interesante. En su extraordinario desarrollo cooperaron ingenieros, químicos, físicos y hasta un astrónomo y un periodista.

Decía lord Bacon, allá por el año 1600, que "calor y frío son las dos manos de la naturaleza con las cuales trabaja; del calor siempre se dispone gracias al fuego, pero en cuanto al frío debemos esperararlo o ir a buscarlo en profundas cuevas o en las altas cumbres".

El poder conservador del hielo de agua y de la nieve era conocido entre los primeros chinos, entre los judíos, los griegos y los romanos. En Roma, Nerón obligaba a sus esclavos a recoger nieve de las montañas para enfriar las bebidas que brindaba a sus invitados, en las fiestas y orgías que celebraba.

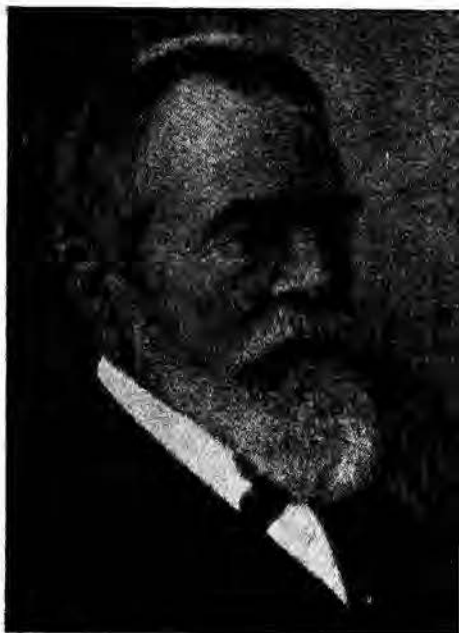
Cuéntase que el filósofo lord Bacon, uno de los fundadores del método experimental, murió debido a un fuerte resfrío que contrajo un día de invierno al bajar de su coche para recoger nieve y rellenar con ella un pollo a fin de estudiar las causas que retardan la putrefacción. Los resultados de esa primera experiencia se ignoran.

Los egipcios, 2500 años antes de Cristo, conocían el secreto del poder de enfriamiento provocado por la evaporación del agua, lo mismo que hoy lo practican los nativos de la India al obtener hielo natural merced a la acción de enfriamiento ejercido por la irradiación nocturna sobre determinadas masas de agua contenidas en vasijas especiales.

Los orígenes de la ciencia del enfriamiento artificial remóntanse al año 1754. Tiberio Cavallo logró producir hielo artificial aprovechando el principio del descenso de la temperatura generado por la rápida evaporación de un líquido volátil en el vacío. Un año después, el médico William Cullen, profesor de química en el Colegio de Glasgow, demostró que el punto de ebullición de los líquidos varía por efecto de la presión que se ejerce sobre su superficie libre, de tal modo que una reducción de dicha presión favorece la evaporación del fluido frigorígeno.

En un ensayo, escrito en 1755, afirma Cullen:

"En un experimento que hicimos con éter nitroso, cuando la temperatura del aire estaba a unos 43°F, pusimos la vasija que contenía el éter dentro de otra un poco más grande, llena de agua. Vacando de aire el recipiente (que contenía las vasijas), y dejando las vasijas "in vacuo" unos cuantos minutos, hallamos luego la mayor parte del agua helada, y el éter rodeado de una capa de hielo espesa y sólida". Hasta las proximidades del año 1834



Doctor Carl von Linde, creador de la moderna técnica de la refrigeración, que en el año 1895 logró licuar el aire.



Doctor Heike Kamerlingh Onnes, honrado con el premio Nobel de física (1913) en mérito a sus valiosos trabajos sobre la licuación del helio.

no se inicia la era del desarrollo de la refrigeración mecánica. Al físico norteamericano Jacobo Perkins se le reconoce como inventor de la *primera máquina frigorífica a compresión* (fig. 1).

La termodinámica, ciencia que se ocupa del estudio formal de la energía, nos enseña que el transporte de una cantidad de calor desde un nivel térmico inferior a otro superior puede lograrse a expensas de un gasto de energía concomitante. Este transporte de calor es efectuado por medio de un compresor, el que juega un papel comparable al de una bomba que eleva un líquido desde un nivel hidrostático inferior a un nivel superior.

En el lenguaje técnico, al referirse a la eficiencia de una máquina frigorífica, decir que el *coeficiente de efecto frigorífico* ξ es igual, por ejemplo, a 4, significa expresar que 4 kilofrigorías* (acción frigorífica) son producidas por cada gasto de trabajo equivalente a una kilocaloría (427 kgm.).

(*) Vale decir, 4 kilocalorías negativas.

Generalmente los cálculos se refieren al *efecto frigorífico por caballo-hora*, k , es decir, por cada 632 Kcalorías, y en consecuencia el referido efecto frigorífico por caballo hora será

$$k = 632 \xi \left(\frac{\text{Kilofrigorías}}{\text{C. V. hora}} \right)$$

Según las características de las instalaciones frigoríficas, esta última cifra puede variar ampliamente desde 3400 a 1300

$$\frac{\text{Kfrig.}}{\text{C. V. hora}}$$

El principio sobre el cual se basa la producción artificial de frío en la referida máquina de Perkins, reside en la refrigeración de un fluido por medio de la vaporización de un agente frigorígeno (éter sulfúrico). Como es sabido, dicho agente para hervir o vaporizarse necesita cierta cantidad de calor, el cual es suministrado por el fluido que lo rodea. Este, a su vez, se enfría debido a la pérdida de calor.

Para que dicho procedimiento sea económicamente posible, es necesario recurrir al agente frigorífico vaporizado, a cuyo efecto se condensa nuevamente. Vale decir, que el proceso cíclico de la refrigeración mecánica por compresión consta de dos partes fundamentales y opuestas: la vaporización y la condensación o licuación.

El trabajo mecánico consumido en el referido proceso es tanto menor cuanto más pequeña es la diferencia de temperaturas entre el evaporador (fuente fría) y el condensador (fuente caliente); por esto debe hacerse la evaporación a la mayor temperatura posible y la condensación a la más baja.

Se atribuye a James Harris (1856), periodista escocés, la patente de una máquina del tipo Perkins destinada a la generación de hielo artificial en gran escala.

Años después (1858) Carlos Tellier, llamado el "padre del frío" en homenaje al genio y perseverancia de su obra en beneficio de la conservación y transporte de productos perecederos, usó el éter metílico como fluido frigorífico en una nueva

máquina de este tipo.

Entre los años 1852 y 1859 se incorpora a la técnica frigorífica la ingeniosa *máquina de absorción* a base de amoníaco, inventada por el ingeniero francés Fernando F. Carré, uno de los más destacados "pioneers" del *frío industrial*. Las máquinas basadas en este nuevo principio, que aprovecha las propiedades de las mezclas binarias, tienen en vez del compresor un *hervidor o destilador*. La solución acuosa amoniacal desgasificada (solución pobre) que queda en el destilador, pasa al aparato de absorción en el que absorbe los gases amoniacales procedentes del vaporizador. La solución saturada vuelve nuevamente al destilador impelida por una bomba, para luego repetir el mismo ciclo de operaciones.

Las máquinas frigoríficas de absorción "húmeda" y "seca" (en la que el agua es sustituida por sales de cloro de metales alcalinos y también $L_1 NO_3$) ofrecen grandes ventajas económicas debido a la posibilidad de emplear vapor de escape barato en todos aquellos procesos en que se necesitan, además de temperaturas bajas, apreciables cantidades de energía.

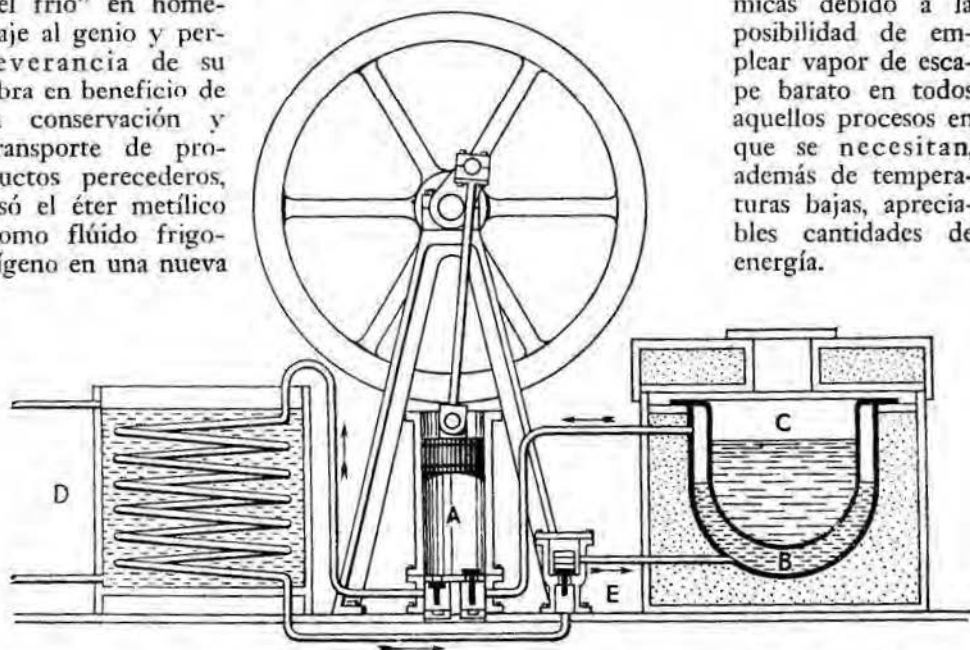


FIGURA 1.—La primitiva máquina frigorífica de Jacobo Perkins. Poseía las características fundamentales de las máquinas modernas de este tipo. El compresor A aspiraba los vapores del fluido volátil frigorígeno (éter sulfúrico) en el espacio B, provocando la extracción de cierta cantidad de calor del agua y la formación de hielo en la vasija C. Los vapores comprimidos pasaban al serpentín condensador D, en el cual se condensaban. Por la válvula de expansión E retornaba el fluido líquido al espacio B.

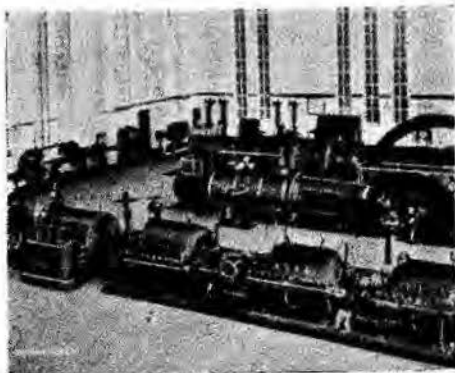


FIGURA 2. — Vista de un turbocompresor de refrigeración para una potencia de 8 000 000 K.frig./hora.

El empleo del vapor de agua como agente frigorífico encontró aplicación en la primera década de este siglo, gracias a la concepción de Mauricio Leblanc y Carlos Parsons, al incorporar los servicios del *eyector a vapor* en reemplazo del compresor a pistón. A este respecto se han generalizado las *máquinas frigoríficas a vapor de agua*, modelos Westinghouse-Leblanc y Josse-Gensecke.

También el fenómeno de *adsorción** encontró aplicación en pequeñas máquinas frigoríficas de este tipo. El agente es una mezcla binaria o una supuesta combinación química, destacándose carbón activo y alcohol metílico o "gel" de sílice ($\text{Si}_2\text{O}_2\text{nH}_2\text{O}$), y anhídrido sulfuroso. En el respectivo ciclo frigorífico se aplica la adsorción sustituyendo el compresor por una masa de substancia adsorbente, que retiene el gas y cumple la etapa de compresión que correspondería a la máquina. Los equipos a base de "gel" de sílice o "sílica gel" suelen usarse en los sistemas de aeroacondicionamiento.

Dentro de ciertas características cabe mencionar aquí la *máquina frigorífica a difusión*. En este modelo se aprovecha el principio inherente a ciertas propiedades derivadas de la difusión de los vapores de un agente frigorígeno (NH_3 , por ejemplo) en un gas inerte (H_2). Algunos ti-

pos de refrigeradores domésticos, "Electrolux", funcionan sobre la base del referido principio sugerido por los ingenieros suecos Carlos Munters y Baltasar von Platen.

En el año 1845 el doctor John Gorrie, de Florida (E. Unidos) crea la *máquina frigorífica a aire*. En esa misma época, el astrónomo Charles Piazzi Smith estaba realizando experimentos sobre enfriamiento de aire para el servicio de hospitales. A este respecto se sabe que la compresión natural de un gas, que no pueda licuarse a temperaturas ordinarias (por ejemplo, el aire), produce calor aumentando su temperatura y que al contrario, su brusca expansión, da lugar a un descenso de la misma.* En este tipo de máquina el valor promedio del efecto frigorífico por caballo hora alcanza cifras aproximadas a 800 $\left(\frac{\text{K.frig.}}{\text{C. V. hora}}\right)$

Entre los años 1873 y 1876 aparecieron las primeras máquinas frigoríficas de *compresores de émbolo* a base de NH_3 y SO_2 , notablemente perfeccionadas por Carlos Linde, ingeniero alemán y Raúl Pictet, físico suizo, respectivamente. Al primero de ellos, en mérito a sus múltiples investigaciones en esta rama de la física, conceptúasele con justicia, el verdadero propulsor de la moderna técnica del frío. Hasta fines del siglo pasado se concibieron y realizaron una variedad de éxitos técnicos destacándose entre ellos las primeras patentes de invención solicitadas por Raydt (1881) y Windhausen (1886) sobre *máquinas generadoras de hielo seco* (CO_2).

El creciente desarrollo del frío industrial, en particular en la industria química, ha puesto en juego el empleo de *turbocompresores* de elevado número de revoluciones (2900 a 8300 r. p. m.), en vez de compresores a émbolo. En los referidos turbocompresores se usan preferentemente, entre otros, ciertos flúidos de

(*) La *adsorción* es cierta propiedad que se manifiesta cuando substancias gaseosas o líquidas adhieren sobre superficies sólidas.

(*) En 1877, lord Kelvin y Coleman patentaron solidariamente una máquina de este tipo, que se instaló en muchos transatlánticos británicos, a fin de preservar y enfriar comestibles y bebidas.

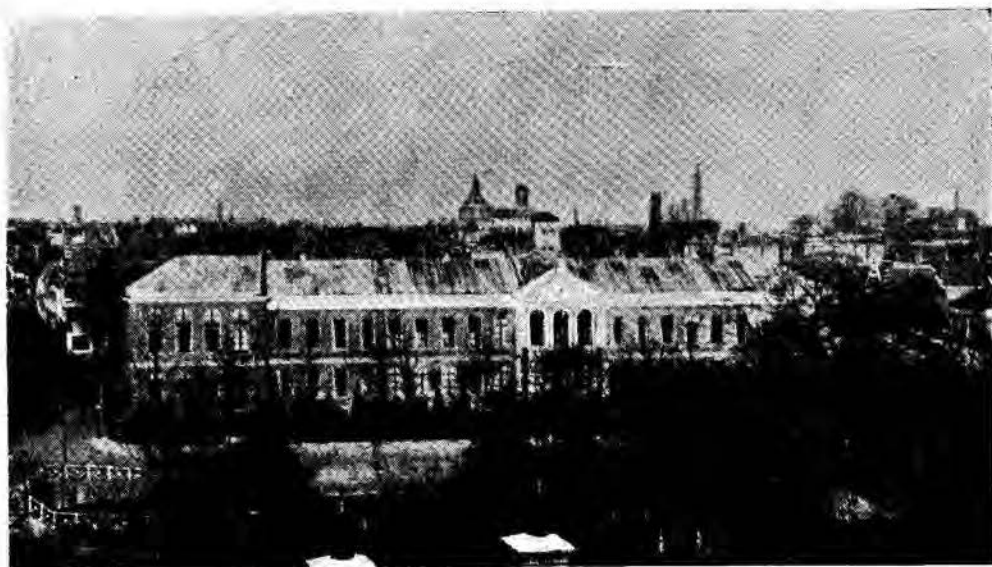


FIGURA 3. — Vista exterior del famoso laboratorio criogénico de la Universidad de Leyde (Holanda).

baja tensión de vapor, como $\text{CH}_3 \text{Cl}_2$ (Cloruro de metilo y $\text{C}_2 \text{H}_5 \text{Br}$ (bromuro de etilo). La experiencia ha demostrado que ellos ofrecen muchas ventajas de diverso orden y se recomiendan para el servicio de plantas cuya potencia frigorí-

fica sea superior a $250\,000 \left(\frac{\text{K-frigorías}}{\text{hora}} \right)$

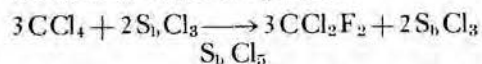
La primera y más grande máquina de este tipo funcionó hace pocos años con una potencia de 8 millones de K. frigorías/hora.

Respecto a los flúidos refrigerantes que en estos últimos años han logrado desplazar ventajosamente a los clásicos flúidos frigorígenos (NH_3 , CO_2 , SO_2 y $\text{CH}_3 \text{Cl}_2$) cabe destacar el grupo de los cloruros y fluoruros de metano, propuesto por Midgley-Henne en el año 1930.

Entre los referidos derivados, de elevado peso molecular, los más difundidos son: el $\text{C Cl}_2 \text{F}_2$ (diclorodifluorometano) denominado comercialmente "Freon" 12 ó F.12, el $\text{C Cl}_3 \text{F}$ (tricloromonofluorometano) "F 11", el $\text{C}_2 \text{Cl}_2 \text{F}_4$ (diclorotetrafluorometano) "F 114" y $\text{C H Cl}_2 \text{F}$ (dicloromonofluorometano) "F 21".

El "Freon" 12 puede prepararse por

acción del $\text{S}_1 \text{Cl}_3$ sobre C Cl_4 , en presencia de $\text{S}_1 \text{Cl}_5$ como catalizador, conforme a la reacción química:



También tienen uso análogo otros derivados fluoroclorados del etano, propano y butano; por ejemplo, el trifluorotricloroetano $\text{C}_2 \text{F}_3 \text{Cl}_3$ ("Freon" 113).

Internándonos en el campo de la moderna rama de la física del frío, la obtención de bajas temperaturas ofrece gran interés en determinadas industrias, particularmente en la de los gases raros, neón, xenón, kriptón, etc. *

Consideraciones teóricas, basadas en la experiencia, han fijado en el espíritu de

(*) En el Instituto para el estudio de problemas físicos (Moscú, el profesor P. Kapitza logró inventar en estos últimos años un ingenioso método de licuación de gases mediante el cual se reduce notablemente el gasto de energía requerido por la aplicación del efecto Joule-Thomson. A este respecto recuerda que el referido efecto ha servido de base al procedimiento industrial Linde-Hampson de licuación de gases por medio de la expansión adiabática sin trabajo externo. Si bien en el proceso Linde (1895) se comprime aire purificado hasta cerca de 200 atmósferas, en el proceso Kapitza dicha compresión solamente alcanza a 5 atmósferas.

los físicos el *límite inferior de la temperatura*. Dicho límite ha sido denominado *cero absoluto* o *cero grado Kelvin* (0°K), * denominación dada en honor del gran físico inglés William Thomson (lord Kelvin) creador en el año 1848 de una escala termodinámica de las temperaturas.

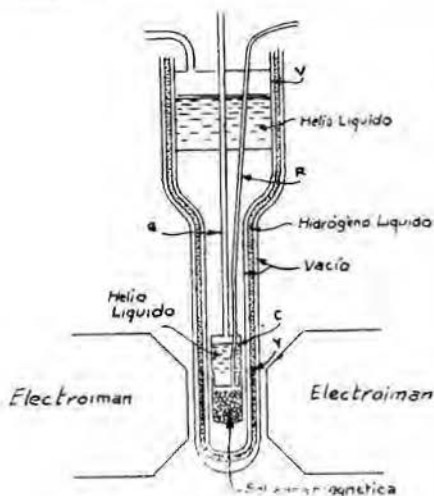


FIGURA 4.—Dispositivo para la obtención de muy bajas temperaturas, vecinas al cero absoluto (0°K), por el efecto magneto-calórico.

Un acontecimiento digno de destacarse en el campo de la experimentación científica es el siguiente: en el año 1919, siete años antes de su muerte, el ilustre físico holandés doctor Heike Kamerling Onnes, fundador y primer director del famoso laboratorio criogénico de la Universidad de Leyde (Holanda), logró alcanzar la más baja temperatura obtenida hasta aquel entonces, 1°K , aspirando al efecto los vapores de helio líquido mediante un sistema especial de bombas de alto vacío que redujeron la tensión de dichos vapores a 0.0015 milímetros de mercurio. Doce años después, nuevas experiencias agotaron el rendimiento del sistema de aspi-

(*) Fijado a 273.2 grados centígrados por debajo de la temperatura correspondiente al estado térmico del hielo fundente.

(**) El cálculo permite prever que a una temperatura igual a 0.03°K (superior a la señalada) la tensión de los vapores de helio es aproximadamente $6.10 \cdot 10^3$ mm. de Hg.

ración de los vapores de helio líquido en base a la técnica del alto vacío, y la investigación científica debió orientarse hacia otro rumbo.

Experiencias modernas realizadas en 1934-1935, basadas en un curioso fenómeno denominado *efecto magneto-calórico*, han permitido a los prestigiosos investigadores W. J. de Haas y E. C. Wiersma, en Holanda; N. Kürti y F. Simon, en Inglaterra, y W. F. Giauque y McDougall, en América del Norte, obtener temperaturas mínimas, prodigiosamente bajas, hasta un valor igual a 0.0044°K , ** *la más baja temperatura hasta hoy día alcanzada*.

El referido fenómeno denominado "efecto magneto-calórico" consiste, en líneas generales, en la obtención de un intenso enfriamiento adiabático (producido en un criostato muy bien aislado, provocado por la brusca demagnetización de una substancia paramagnética (débilmente magnética a la temperatura ordinaria), como por ejemplo: alumbre de cromo y potasio; alumbre de titanio y de cesio; sulfato de gadolinio octohidrato, etcétera.

Esta brusca demagnetización se obtiene a expensas de una caída rapidísima del campo magnético, por ejemplo desde 24 075 hasta 1.05 oersteds.

Todo hace suponer que en la nueva región de las muy bajas temperaturas, hoy exploradas con todo éxito, todavía no se ha ubicado el último jalón en el camino de la afanosa persecución del inalcanzable cero absoluto.

Esperemos que en un futuro quizá no muy lejano la ciencia, siempre fecunda en su afán de incesante progreso, nos brinde a este respecto nuevas y admirables conquistas.

BIBLIOGRAFIA

- Refrigerating Data Book*. New York (1937-1938).
 MACINTIRE, H. J.: *Refrigeration engineering*. New York, 1937.
 EPSTEIN, P. S.: *Textbook of thermodynamics*. New York, 1937.
Bulletin de l'Institut International du Froid. París, 1935.
 CICALI, G.: *Técnica del freddo*. Bologna, 1938.
Endeavour: 1944, 3, N^o 11.